



Anmeldung Nr:  
Application no.: 03004043.0  
Demande no:

Anmeldetag:  
Date of filing: 25.02.03  
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

FESTO AG & Co  
Ruiter Strasse 82  
73734 Esslingen  
ALLEMAGNE  
Ceramics GmbH & Co. KG  
Bahnhofstrasse 43  
96257 Rednitz  
ALLEMAGNE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:  
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.  
If no title is shown please refer to the description.  
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

Biegeaktor und damit ausgestattete Aktoreinrichtung

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)  
revendiquée(s)  
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/  
Classification internationale des brevets:

H01L41/09

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of  
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL  
PT SE SI SK TR LI

THIS PAGE BLANK (USP...)

25. Feb. 2003

P 22378/EP - les  
6. Februar 2003

FESTO AG & Co, 73734 Esslingen

10

und

Ceramics GmbH & Co. KG, 96257 Rednitz

15

Biegeaktor und damit ausgestattete Aktoreinrichtung

Die Erfindung betrifft einen Biegeaktor mit länglicher Gestalt, mit einem zur Fixierung des Biegeaktors dienenden Befestigungsabschnitt und mit einem von dem Befestigungsabschnitt wegragenden, durch Aktivierung des Biegeaktors quer zu dessen Längsachse auslenkbaren Arbeitsabschnitt, der mit mindestens einer zur Erfassung der Längsdehnung geeigneten Sensoreinrichtung ausgestattet ist.

Die Erfindung betrifft ferner eine Aktoreinrichtung, mit einem längliche Gestalt aufweisenden Biegeaktor, der mit einem Befestigungsabschnitt an einem Grundkörper der Aktoreinrichtung fixiert ist und der über einen von dem Befestigungsabschnitt wegragenden Arbeitsabschnitt verfügt, der durch Aktivierung des Biegeaktors quer zu dessen Längsachse auslenkbar und gegen einen im Auslenkweg angeordneten Widerstand drückbar ist und der mit mindestens einer zur Erfassung der Längsdehnung geeigneten Sensoreinrichtung ausgestattet ist.

Biegeaktoren sind in der Regel so aufgebaut, dass sie an einem Befestigungsabschnitt fixiert werden können und über einen frei endenden Arbeitsabschnitt verfügen, der durch Anlegen einer Bertriebsspannung biegsam und somit quer zur Längsrichtung auslenkbar ist. Die am meisten verwendeten Vertreter solcher Biegeaktoren sind Piezo-Biegewandler, wie sie beispielsweise aus der WO 01/89004 A1 hervorgehen. Häufig werden

5 sie, wie ebenfalls in der WO 01/89004 A1 beschrieben, als Bestandteile von Aktoreinrichtungen eingesetzt, die als Fluidsteuerventile ausgebildet sind und bei denen der Arbeitsabschnitt verschwenkbar ist, um einen Fluidkanal wahlweise freizugeben oder zu verschließen.

10

In der WO 01/89004 A1 erfolgt die Beschreibung eines Biegeaktors und einer damit ausgestatteten Aktoreinrichtung der eingangs zitierten Art, wobei der Biegeaktor im Bereich des Arbeitsabschnittes mit mindestens einer Sensoreinrichtung ausgestattet ist, die in der Lage ist, die Längsdehnung des Arbeitsabschnittes zu erfassen. Auf diese Weise soll eine Überwachung und/oder Rückmeldung des Betriebsverhaltens des Biegeaktors ohne externe Sensorik durchführbar sein. Bei der praktischen Verwirklichung haben sich jedoch nicht unbe-  
20 trächtliche Probleme herausgestellt.

Piezokeramische Biegewandler besitzen aufgrund der piezokeramischen Eigenschaften Hysterese- und Drifteffekte. Die Hysterese bedingt, dass bei anliegender Betriebsspannung in Abhängigkeit von der vorausgegangenen Betriebshistorie unterschiedliche Auslenkungen des Biegeaktors möglich sind. Hinzu kommen vor allem mechanische und thermische Drifteffekte, die sich überlagern und in zeitlicher Betrachtung eine Änderung der Biegung und Auslenkung zur Folge haben. Darüber hinaus  
25 führen unterschiedliche externe Kräfte, welche auf den Biegeaktor einwirken, ebenfalls zu unterschiedlichsten Biegungen und Auslenkungen. So können, um den Fluidkanal eines Steuerventils zu verschließen, in Abhängigkeit von den herrschenden Drücken unterschiedlich hohe Stellkräfte erforderlich sein,  
30 die jeweils, bei gleicher Auslenkung, unterschiedliche Biegeverformungen des Biegeaktors zur Folge haben. Dies bedeutet, dass die gemäß WO 01/89004 A1 am Biegeaktor vorgesehene Sensoreinrichtung nicht ohne weiteres ein reproduzierbares Messergebnis liefern kann.

40

- 5 Man hat auch schon versucht, die Hystereseeffekte bei piezokeramischen Biegewandlern durch die Entwicklung hystereseärmer Piezokeramiken zu reduzieren. Dies führt allerdings zu einem Rückgang der Leistungsfähigkeit der Piezokeramik.
- 10 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Maßnahmen zu treffen, die eine exakte Erfassung des Betriebsverhaltens eines Biegeaktors ermöglichen.

Diese Aufgabe wird bei einem Biegeaktor und einer Aktoreinrichtung der eingangs genannten Art jeweils dadurch gelöst, dass die Sensoreinrichtung an und/oder in Längsrichtung symmetrisch beidseits einer Stelle platziert ist, an der bei gegen einen Widerstand drückendem Arbeitsabschnitt eine von der Stellkraft unabhängige, konstante Längsdehnung vorliegt.

20

- Berechnungen haben ergeben, dass der Arbeitsabschnitt eines Biegeaktors eine in Längsrichtung zum Befestigungsabschnitt beabstandete Stelle aufweist, an der die auftretende Längsdehnung unabhängig davon konstant bleibt, mit welcher Kraft
- 25 der aktivierte Arbeitsabschnitt gegen einen in seinem Auslenkweg platzierten Widerstand gedrückt wird. Wie an den anderen Stellen steigt zwar auch bei dieser speziellen Stelle die Dehnung zunächst an, wenn der Arbeitsabschnitt, ohne auf einen Widerstand zu treffen, durch entsprechende Aktivierung
- 30 mehr und mehr ausgelenkt wird. Sobald der Arbeitsabschnitt jedoch auf einen Widerstand trifft, beispielsweise auf einen Fluidkanal zugeordneten Ventilsitz, ändert sich die Längsdehnung an der fraglichen Stelle nicht mehr, auch wenn die interne Stellkraft des Biegeaktors weiter erhöht wird.
- 35 Der konstante Dehnungswert ist ein spezifischer Wert des betreffenden Biegeaktors, der auch von der Betriebshistorie nicht beeinflusst wird.

Berechnungen bei unterschiedlichen Biegeaktoren haben ergeben, dass der Abstand der Stelle konstanter Längsdehnung zum

40

- 5 Befestigungsabschnitt in der Regel ein Drittel des Abstandes zwischen dem Befestigungsabschnitt und dem mit dem Widerstand zusammenarbeitenden Beaufschlagungsabschnitt beträgt, wenn dieser vorgenannte Abstand im Verhältnis zur Länge des Befestigungsabschnittes relativ groß ist.

10

- Idealerweise würde die Sensoreinrichtung direkt und ausschließlich an der Stelle der konstanten Längsdehnung platziert werden. Da es jedoch konstruktiv sehr schwierig ist, eine entsprechend miniaturisierte Sensoreinrichtung bereitzustellen, wird die Sensoreinrichtung in der Regel so angeordnet sein, dass sie in der Längsrichtung des Biegeaktors symmetrisch zu beiden Seiten der Stelle konstanter Längsdehnung platziert ist, wobei sie an der Stelle konstanter Längsdehnung entweder durchgehend ausgebildet ist oder auch unterbrochen sein kann. Es kann dann eine Integration bzw. Summenbildung über die Messstreckenlängen beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung erfolgen, wobei sich über die Gesamtsumme die Auslenkung des Biegeaktors unabhängig von der herrschenden Stellkraft ermitteln lässt und wobei ferner die Möglichkeit besteht, durch Subtraktion der beiden Teildehnungsintegrale die aktuell herrschende Stellkraft zu ermitteln. Auf Basis der Erfindung können Biegeaktoren im Closed-Loop-Betrieb, unabhängig von externen Kräften, exakt positioniert werden. Darüber hinaus ist die Auslenkung des Arbeitsabschnittes und die externe Kraft messbar.
- 15  
20  
25  
30

- Für die Erfindung ergeben sich vielfältige Anwendungen in allen Bereichen, bei denen mittels eines Biegeaktors Stellkräfte auf eine beliebige Struktur ausgeübt werden sollen. Eine mögliche Anwendung ist der Einsatz bei Fluidsteuerventilen, um die Schaltstellung eines als Betätigungsglied und/oder unmittelbar als Ventilglied eingesetzten Biegeaktors präzise erfassen zu können.
- 35

- 5   Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Bevorzugt ist die Sensoreinrichtung an einer der beiden in der Auslenkungsrichtung orientierten Oberflächen des Arbeitsabschnittes des Biegeaktors platziert.

Um ein mehrfaches Sensorsignal und damit eine höhere Genauigkeit zu erzielen, können gleichzeitig mehrere Sensoreinrichtungen vorgesehen sein, die insbesondere, bezogen auf die Dickenrichtung des Biegeaktors, in unterschiedlichen Ebenen platziert sind und die sich vorzugsweise an beiden einander entgegengesetzten, in der Auslenkungsrichtung orientierten Oberflächen des Biegeaktors befinden.

Wie schon kurz erwähnt, kann sich die Sensoreinrichtung durchgehend, ohne Unterbrechung, über die Stelle konstanter Längsdehnung hinweg erstrecken. Möglich ist allerdings auch eine Bauform, bei der die Sensoreinrichtung im Bereich der Stelle konstanter Längsdehnung unterbrochen ist und sich insbesondere aus zwei Sensoreinrichtungsteilen zusammensetzt, die in Längsrichtung des Biegeaktors mit Abstand zueinander angeordnet sein können. Der Abstand der beiden Sensoreinrichtungsteile von der Stelle konstanter Längsdehnung ist gleich groß und auch die wirksamen Längen der beiden Sensoreinrichtungsteile entsprechen sich.

Die Sensoreinrichtung basiert beispielsweise auf kapazitivem Messprinzip, kann aber auch auf einem ohmschen Widerstandsmessprinzip basieren. Bevorzugt kommen Dehnungsmessstreifen zum Einsatz.

Bei einem Biegeaktor vorgegebener Länge hängt die Position der Stelle konstanter Längsdehnung ersichtlich von der Position des Befestigungsabschnittes ab, also davon, wo und über welche Länge hinweg der Biegeaktor ortsfest eingespannt wird.

5 Da in vielen Fällen diese Einsatzbedingungen bei der Herstellung des Biegeaktors noch nicht bekannt sein werden, kann der Biegeaktor mit einer Sensoreinrichtung ausgestattet sein, die sich über eine längere Strecke entlang dem Biegeaktor aus-  
10 sdehnt und die zur Anpassung an die sich später ergebende Position der Stelle konstanter Längsdehnung selektiv deaktivierbar ist, um die erforderliche symmetrische Gestaltung bezüglich der Stelle konstanter Längsdehnung zu erhalten. Beispielsweise kann die Sensoreinrichtung mittels Laser oder einer anderen Trennvorrichtung so durchtrennt werden, dass sich  
15 die gewünschte Symmetrie bezüglich der konstanten Dehnungsstelle ergibt.

Eine mit dem Biegeaktor ausgestattete Aktoreinrichtung kann beispielsweise einen Antrieb bilden, um ein Bauteil, beispielsweise das Ventilglied eines Ventils, in unterschiedlichen  
20 Stellungen zu positionieren. Die Aktoreinrichtung kann aber auch unmittelbar als Fluidsteuerventil ausgebildet sein, insbesondere auf dem Sektor der Pneumatik. Auf jeden Fall ist es von Vorteil, wenn die Aktoreinrichtung über Auswertemittel  
25 verfügt, durch die die Auslenkung und/oder die Stellkraft des Arbeitsabschnittes auf Basis der durch die Sensoreinrichtung erfassten Dehnung ermittelt werden kann.

30 Nachfolgend wird die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Fig. 1a in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer mit dem erfindungsgemäßen Biegeaktor  
35 ausgestatteten erfindungsgemäßen Aktoreinrichtung in Gestalt eines Fluidsteuerventils,

Fig. 1b eine Draufsicht auf den Biegeaktor in Blickrichtung gemäß Pfeil I aus Fig. 1a,



5 Fig. 1c ein Diagramm, das den über der wirksamen Länge  $L$  aufgetragenen Verlauf der Längsdehnung  $e$  zeigt,

Fig. 2a

10 bis 2e die spannungsabhängige Kennlinie des Biegewandlers der Fig. 1a und 1b mit der Längsdehnung  $e$  als Funktion der wirksamen Biegeaktorlänge  $L$ , wobei schraffiert das Integral über die Messstreckenlänge der Sensoreinrichtung symmetrisch zur Stelle konstanter Längsdehnung aufgezeigt ist,

15

Fig. 3 die der Fig. 2e entsprechende Kennlinie, wobei schraffiert die beiden Dehnungsteilintegrale unter den beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung liegenden Abschnitten der Sensoreinrichtung gekennzeichnet sind, und

20

Fig. 4 einen zur variablen Auslegung der Sensoreinrichtung geeigneten Biegeaktor in einer Einzeldarstellung in Draufsicht vergleichbar der Darstellung in Fig. 1b.

25

Aus Fig. 1a und 1b geht schematisch eine Aktoreinrichtung 1 hervor, die hier exemplarisch als Fluidsteuerventil ausgebildet ist.

30 Die Aktoreinrichtung 1 verfügt über einen ein- oder mehrteiligen Grundkörper 2, der vorliegend das Ventilgehäuse bildet und der eine Aufnahmekammer 3 definiert, in der ein längliche Gestalt aufweisender Biegeaktor 4 platziert ist.

35 Der Biegeaktor 4 ist leisten- oder balkenähnlich gestaltet. Seine Breite  $B$  ist in der Regel größer als seine Dicke  $D$ .

Einer der beiden axial orientierten Endbereiche des Biegeaktors 4 bildet einen Befestigungsabschnitt 5. Dieser dient zur  
40 ortsfesten Fixierung des Biegeaktors 4 an dem Grundkörper 2.

- 5 Schematisch ist angedeutet, wie der Befestigungsabschnitt 5 zwischen zwei gehäusefesten Lagerstellen 6 an dem Befestigungsabschnitt 5 fest eingespannt ist. Die Einspannung erfolgt in der Regel so, dass der Befestigungsabschnitt 5 bezüglich der Lagerstellen 6 nicht verschwenkbar ist. Die Lagerstellen 6 können unmittelbare Bestandteile des Grundkörpers 2 sein oder können auch beispielsweise von einem ausgehärteten, im Grundkörper 2 eingebetteten Gießharz gebildet sein.
- 10
- 15 Von dem Befestigungsabschnitt 5 ragt ein frei endender Arbeitsabschnitt des Biegeaktors 4 weg. Dessen dem Befestigungsabschnitt 5 entgegengesetzter Endbereich bildet einen Beaufschlagungsabschnitt 8.
- 20 Bei dem Biegeaktor 4 handelt es sich um ein Bauteil, dessen Arbeitsabschnitt 7 durch entsprechende Aktivierung eine Biegung erfährt und quer zur Längsachse 12 des Biegeaktors 4 auslenkbar ist. Die Auslenkbewegung ist durch einen Doppelpfeil bei 13 angedeutet. Die beiden größerflächigen längsseitigen Oberflächen des im Querschnitt bevorzugt rechteckförmig
- 25 gestalteten Biegeaktors 4 sind in der Richtung der Auslenkbewegung 13 orientiert und beim Ausführungsbeispiel, lediglich zur besseren Unterscheidung, als obere und untere Oberflächen 14, 15 bezeichnet. Die Fig. 1b ermöglicht einen Blick auf die
- 30 obere Oberfläche 14.

Der Biegeaktor 4 könnte beispielsweise ein Bimetall- oder Memorymetall-Biegeaktor sein. Beim Ausführungsbeispiel handelt es sich um einen Piezo-Biegewandler, der unter Verwendung einer handelsüblichen Piezokeramik oder sonstiger geeigneter piezoelektrischer Materialien aufgebaut ist.

35

Im deaktivierten Ausgangszustand nimmt der Biegeaktor 4 die in Fig. 1a in durchgezogenen Linien gezeigte Strecklage mit linearer Ausdehnung ein. Durch Anlegen einer Betriebsspannung

40

5 über schematisch angedeutete Zuleitungsmittel 16 kann eine  
Auslenkung des Arbeitsabschnittes 7 hervorgerufen werden, so-  
dass dieser in Richtung zu einem der unteren Oberfläche 15  
gegenüberliegenden Ventilsitz 17 verschwenkt wird, der im  
Auslenkweg des Arbeitsabschnittes 7 und, genauer gesagt, im  
10 Auslenkweg des Beaufschlagungsabschnittes 8 liegt.

Der Ventilsitz 17 umgrenzt die Mündung eines insbesondere zu-  
mindest teilweise die Wandung des Grundkörpers 2 durchsetzen-  
den Fluidkanals 18, über den im Betrieb des Fluidsteuerver-  
15 tils ein unter einem bestimmten Arbeitsdruck stehendes Fluid  
zuführbar ist, wobei es sich sowohl um ein hydraulisches als  
auch um ein gasförmiges Fluid handeln kann. Bevorzugt handelt  
es sich bei dem Fluid um Druckluft.

20 Der Ventilsitz 17 bildet einen im Auslenkweg des Arbeitsab-  
schnittes 7 liegenden Widerstand 22, an den der Beaufschla-  
gungsabschnitt 8 angedrückt wird, sodass der Fluidkanal 18  
dicht verschlossen wird. Auf diese Weise kann das Einströmen  
des Fluides in die Aufnahmekammer 3 verhindert werden.

25 Im deaktivierten Zustand des Biegeaktors 4 ist der Beauf-  
schlagungsabschnitt 8 von dem Ventilsitz 17 abgehoben, sodass  
Druckmedium über den Fluidkanal 18 in die Aufnahmekammer 3  
einströmen und von dort über einen weiteren, ebenfalls in die  
30 Aufnahmekammer 3 einmündenden, in der Zeichnung jedoch nicht  
näher dargestellten Fluidkanal abströmen kann. Auf diese Wei-  
se kann die Aktoreinrichtung zum Beispiel als 2/2- oder 3/2-  
Wegeventil ausgebildet sein.

35 Der Biegeaktor 4 ist im Bereich des Arbeitsabschnittes 7 mit  
einer beim Ausführungsbeispiel unmittelbar an der oberen O-  
berfläche 14 angebrachten Sensoreinrichtung 23 ausgestattet.  
Diese ist über eine geeignete elektrische Verbindung 24 an  
schematisch angedeutete elektronische Auswertemittel 25 ange-  
40 schlossen, die zu einer insgesamt mit Bezugsziffer 26 be-

5    zeichneten elektronischen Steuereinrichtung gehören, über die  
die Ansteuerung des Biegeaktors 4 mit der gewünschten Be-  
triebsspannung erfolgt. Anhand der Sensoreinrichtung 23 lässt  
sich die momentane Auslenkung des Arbeitsabschnittes 7 erfassen,  
wobei insbesondere die Möglichkeit besteht, das Errei-  
10    chen der an dem Widerstand 22 anliegenden Endstellung zu erfassen,  
und zwar unabhängig von der Stellkraft, mit der der  
Arbeitsabschnitt 7 gegen den körperlichen Widerstand 22 andrückt.

15   Die Sensoreinrichtung 23 ist ausgebildet, um die Längsdehnung  
des Arbeitsabschnittes 7 in dem mit ihr bestückten Bereich zu  
erfassen. Die erfasste Dehnung ist ein Maß für die aktuelle  
Auslenkung des Biegeaktors 4.

20   Betrachtet man die zwischen dem Befestigungsabschnitt 5 und  
dem Beaufschlagungsabschnitt 8 gemessene wirksame Biegeaktor-  
länge BW, so nimmt zwar mit zunehmender Betätigungsspannung  
und folglich mit zunehmender Auslenkung die Längsdehnung zu,  
ist jedoch jeweils über die gesamte wirksame Biegeaktorlänge  
25   BW hinweg konstant, solange der Befestigungsabschnitt 5 noch  
nicht auf den Widerstand 22 getroffen ist. In Fig. 2a, 2b und  
2c wird dieser Umstand durch die zunehmend höher liegende horizontale  
Kennlinie K deutlich. In Fig. 2c, wie auch in Fig.  
1c, vermittelt die horizontale Kennlinie K den Zustand prak-  
30   tisch unmittelbar vor dem Auftreffen auf den Widerstand 22  
bzw. den diesen bildenden Ventilsitz 17.

Entsprechend einer zuvor vorgenommenen Kalibrierung kann so-  
mit anhand der durch die Sensoreinrichtung 23 ermittelten mo-  
35   mentanen Dehnung das Maß der momentanen Auslenkung des Arbeitsabschnittes  
7 und somit die Relativposition zwischen dem Beaufschlagungsabschnitt 8  
und dem Widerstand 22 bzw. dem Ventilsitz 17 ermittelt werden.

5 Eine besondere Problematik ergibt sich jedoch durch den Um-  
stand, dass die Längsdehnung des Arbeitsabschnittes 7 ab dem  
Moment des Auftreffens auf den Widerstand 22 über die wirksa-  
me Biegeaktorlänge BW hinweg keine Konstante mehr darstellt.  
Die Längsdehnung variiert insbesondere in Abhängigkeit von  
10 der Stellkraft, mit der der Arbeitsabschnitt 7 durch entspre-  
chende Spannungsanlegung gegen den Widerstand 22 vorgespannt  
wird. Diese Stellkraft kann im Betrieb des Fluidsteuerventils  
variieren, insbesondere aufgrund von Schwankungen des über  
den Fluidkanal 18 auf den Beaufschlagungsabschnitt 8 einwir-  
15 kenden Druckes. Entsprechend dem jeweiligen Belastungsfall  
ergeben sich stellkraftabhängig unterschiedlich stark ge-  
krümmte Biegelinien des Biegeaktors 4, wobei in Fig. 1a bei  
BL1 und BL2 zwei solcher möglichen Biegelinien angedeutet  
sind. Die ebenfalls eingezeichnete Biegelinie BL3 repräsen-  
20 tiert schematisch eine Gestalt des Biegeaktors 4 im ausge-  
lenkten, aber noch nicht gegen den Widerstand 22 vorgespann-  
ten Zustand.

Wie nun aber bei Berechnungen überraschend festgestellt wur-  
25 de, verfügt der Biegeaktor 4 über eine ganz bestimmte Stelle,  
an der die Längsdehnung unabhängig davon konstant bleibt, mit  
welcher Stellkraft der Arbeitsabschnitt 7 gegen den Wider-  
stand 22 drückt. Diese als Stelle konstanter Längsdehnung 27  
bezeichnete Stelle liegt in Richtung der Längsachse 12 zwi-  
30 schen dem Befestigungsabschnitt 5 und dem Beaufschlagungsab-  
schnitt 8, wobei sie zu beiden Abschnitten beabstandet ist.  
Beim Ausführungsbeispiel wird die wirksame Biegeaktorlänge BW  
durch die Stelle konstanter Längsdehnung 27 im Verhältnis  
1/3 : 2/3 unterteilt, wobei der kürzere Abstand dem Befesti-  
35 gungsabschnitt 5 zugeordnet ist. Weitere Messungen haben er-  
geben, dass dieses spezielle Abstandsverhältnis in der Regel  
immer dann zutrifft, wenn die Einspannlänge des Biegeaktors 4  
am Befestigungsabschnitt 5 im Verhältnis zur wirksamen Bie-  
geaktorlänge BW klein ist.

- 5 Die Stelle konstanter Längsdehnung 27 kann beispielsweise unter Einsatz Finiter Elemente Methoden berechnet werden.

Die vorstehend geschilderte Erkenntnis wird erfindungsgemäß bei der Platzierung der Sensoreinrichtung 23 am Biegeaktor 4  
10 ausgenutzt. Demnach sitzt die Sensoreinrichtung 23 an der Stelle konstanter Längsdehnung 27 und/oder in Längsrichtung symmetrisch beidseits dieser Stelle.

Idealerweise würde man die Sensoreinrichtung 23 auf die Stelle  
15 konstanter Längsdehnung 27 konzentrieren. Da diese Stelle jedoch punkt- oder linienförmig und somit in Richtung der Längsachse 12 sehr schmal ist, bedürfte es sehr kleiner und teurer Sensorstrukturen. Man verwendet daher zweckmäßigerweise eine Bauform, bei der sich die Sensoreinrichtung 23 über  
20 die Stelle konstanter Längsdehnung 27 hinweg erstreckt, so dass sie mit einem mittleren Abschnitt direkt an dieser Stelle konstanter Längsdehnung 27 liegt und zusätzlich mit zwei Sensorabschnitten 28a, 28b, die über die gleiche Länge verfügen, in Richtung der Längsachse 12 beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung 27 in symmetrischer Weise zu liegen  
25 kommt. Bei der Dehnungsmessung neutralisieren sich die symmetrisch beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung 27 gemessenen Dehnungsanteile, sodass letztlich die an der fraglichen Stelle 27 aktuell herrschende Längsdehnung erfassbar  
30 ist.

Die Sensoreinrichtung 23 kann in jeder geeigneten Bauart ausgeführt sein, die es ermöglicht, die Längsdehnung des Arbeitsabschnittes 7 an der mit der Sensoreinrichtung 23 be-  
35 stückten Stelle zu erfassen. In der Regel wird es sich um eine Sensoreinrichtung 23 handeln, die auf kapazitivem oder ohmschem Messprinzip basiert. Vorteilhaft ist insbesondere die Ausgestaltung als Dehnungsmessstreifen.

5 Während sich also beim Ausführungsbeispiel die Sensoreinrichtung 23 durchgehend über die Stelle konstanter Längsdehnung 27 hinweg erstreckt, ist auch eine in Fig. 1b strichpunktiert angedeutete Bauform möglich, bei der die Sensoreinrichtung 23 im Bereich der Stelle konstanter Längsdehnung 27 eine Unterbrechung aufweist. In diesem Fall verfügt sie beispielsweise über zwei mit gleichem Abstand symmetrisch beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung 27 platzierte Sensoreinrichtungsteile 32a, 32b, die die beiden Sensorabschnitte 28a, 28b bilden.

15

Möglich wäre auch eine durchgehende Sensoreinrichtung, bei der nach Art eines Spannungsteilers ein Mittenabgriff erfolgt.

20 In Fig. 1a ist strichpunktiert angedeutet, dass die Sensoreinrichtung 23 alternativ oder zusätzlich auch an der unteren Oberfläche 15 des Arbeitsabschnittes 7 platziert sein könnte. Durch die Mehrfachanordnung in mehreren in Dickenrichtung D beabstandeten Ebenen erhält man ein sich positiv auf die Präzision auswirkendes mehrfaches Sensorsignal.

25

Anstatt die Sensoreinrichtung 23 auf die Oberfläche des Arbeitsabschnittes 7 aufzusetzen - die Befestigung kann beispielsweise durch eine Klebeverbindung erfolgen -, wäre auch eine ganze oder teilweise Integration einer oder mehrerer Sensoreinrichtungen 23 in das Material des Biegeaktors 4 und/oder, bei einem Schichtaufbau desselben, zwischen die einzelnen Biegeaktorschichten möglich. Allerdings ist darauf zu achten, dass die eine oder mehreren Sensoreinrichtungen mit Abstand zur neutralen Faser des Biegeaktors 4 platziert werden, in der keinerlei Längsdehnung auftritt. Die Platzierung an der Außenoberfläche 14, 15 des Biegeaktors 4 hat den Vorteil, dass hier der Abstand zur neutralen Faser relativ groß ist und somit genauere Messergebnisse erzielt werden können.

40

5

Zurückkommend auf das Diagramm der Fig. 1c, sind dort strichpunktuiert die den Biegelinien BL1 und BL2 entsprechenden Kennlinien dargestellt, bei denen es sich um Geraden handelt, die über unterschiedliche Steigungen verfügen, die jedoch beide in einem gemeinsamen Punkt mit der horizontalen Kennlinie K zusammentreffen, wobei dieser gemeinsame Punkt 33 die Längsdehnung  $e_K$  an der Stelle konstanter Längsdehnung 27 wiedergibt. Mit gleichem Abstand beidseits dieser Stelle 27 eingezeichnete vertikale Linien bilden Begrenzungslinien 34a, 34b, durch die die axial orientierten Enden der Sensoreinrichtung 23 markiert sind. Der zwischen den Begrenzungslinien 34a, 34b liegende Längenabschnitt LS gibt die Länge der Sensoreinrichtung 23 zwischen den einander entgegengesetzten äußeren Enden wieder.

20

Bei einem typischen Anwendungsfall der Aktoreinrichtung 1 und des in dieser enthaltenen Biegeaktors 4 wird zunächst, im Rahmen von Berechnungen oder Versuchen, der Wert der konstanten Längsdehnung  $e_K$  ermittelt. Diese Ermittlung geschieht zweckmäßigerweise durch Berechnung des Integrals unter den Kennlinien K1 und/oder K2 und/oder einer anderen dieser im Belastungsfall auftretenden Kennlinien, und zwar über die Länge der Sensoreinrichtung LS. In Fig. 1c ist exemplarisch das unter der Kennlinie K1 gebildete Integral durch eine Schraffur angedeutet.

30

Bei Aktivierung des Biegeaktors 4 wird durch die Auswertemittel 25, die über entsprechende Integriermittel 35 verfügen, das Integral unter der momentanen Kennlinie zwischen den beiden Begrenzungslinien 34a, 34b ermittelt. Gemäß Fig. 2a bis 2c ergibt sich eine Vergrößerung dieses Integrals mit zunehmender Betätigungsspannung und entsprechender Auslenkung des Arbeitsabschnittes 7. Die ermittelten Werte werden dann durch ebenfalls zu den Auswertemitteln 25 gehörende Vergleichermittel 36 mit dem durch die vorherige Kalibrierung ermittelten

40



- 5 Sollwert des Integrals verglichen, der derjenigen Auslenkung entspricht, bei der der Arbeitsabschnitt 7 mit mehr oder weniger großer Kraft an den Widerstand 22 bzw. den Ventilsitz 17 angedrückt wird.
- 10 Wenn beispielsweise beabsichtigt ist, den Arbeitsabschnitt 7 so weit auszulenken, dass der Beaufschlagungsabschnitt 8 unter Verschluss des Fluidkanals 18 am Ventilsitz 17 anliegt, wird die Betätigungsspannung über die Zuleitungsmittel 16 so lange erhöht, bis das gemessene Integral dem Sollwert ent-
- 15 spricht. Dabei ist von Vorteil, dass das ermittelte Integral von der Höhe der Stellkraft unabhängig ist. Aus Fig. 2d und 2e wird deutlich, dass ab dem Moment des Anliegens des Arbeitsabschnittes 7 am Widerstand 22 bei Variationen der Betätigungsspannung und folglich der Stellkraft nurmehr die Stei-
- 20 gung der Kennlinie variiert, ohne dass sich die Lage des Punktes 33 verändert, sodass das ermittelte Integral konstant bleibt.

Somit kann die Auslenkposition des Arbeitsabschnittes 7

25 kraftunabhängig ermittelt werden. Bei einer bestimmten Auslenkung des Arbeitsabschnittes 7 ist die ermittelte Dehnung unabhängig von der herrschenden Kraft. Es ist somit möglich, unabhängig von der aufgebrachten Stellkraft mit hoher Präzision festzustellen, wenn der Biegeaktor 4 die gewünschte Aus-

30 lenkung erreicht hat.

Bei der Integration macht man sich zunutze, dass sich beid-

seits der Stelle konstanter Längsdehnung 27 Bereiche linearer Dehnung befinden und somit präzise Aufsummierungen möglich

35 sind.

Beim Ausführungsbeispiel besteht ferner die Möglichkeit, durch entsprechende Ausgestaltung der Sensoreinrichtung 23 die beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung 27 liegenden

40 Dehnungsteilintegrale 37a, 37b getrennt zu ermitteln. Beson-

5    ders einfach ist dies bei einer Sensoreinrichtung 23, die  
sich aus mehreren separaten Sensoreinrichtungsteilen 32a, 32b  
zusammensetzt. Es besteht die Möglichkeit, durch anschließende  
Aufaddition der beiden Dehnungsteilintegrale 37a, 37b die  
10    zuvor geschilderte kraftunabhängige Erfassung der Auslenkung  
des Biegeaktors 4 vorzunehmen. Darüber hinaus besteht aber  
auch die Möglichkeit, die Dehnungsteilintegrale 37a, 37b voneinander  
zu subtrahieren, wobei das Resultat ein Maß für die  
Stellkraft ist, mit der der Biegeaktor 4 momentan gegen den  
Widerstand 22 drückt.

15

Indem man die Dehnungsteilintegrale 37a, 37b durch die entsprechend  
ausgestalteten Auswertemittel 25 sowohl addiert als auch subtrahiert,  
lässt sich der Biegeaktor 4 ohne weiteres so ansteuern, dass er den  
20    Widerstand 22 bei Erreichen der entsprechenden Auslenkung mit einer  
vorbestimmten Kraft beaufschlägt.

Insgesamt besteht somit die Möglichkeit, durch Dehnungsintegration  
über die gesamte Länge LS der Sensoreinrichtung 26 die  
25    Auslenkung des Biegeaktors 4 unabhängig von der externen Kraft zu  
ermitteln. Des Weiteren kann durch Subtraktion der Dehnungsteilintegrale  
die externe Kraft ermittelt werden. Auf diese Weise lässt sich eine  
Vielzahl von neuen Anwendungsfeldern für Biegeaktoren, insbesondere  
mit piezokeramischem Aufbau, erschließen.  
30

Ein weiterer vorteilhafter Aspekt ergibt sich, wenn der Biegeaktor  
4 mit einer Sensoreinrichtung 26 ausgestattet ist, die sich über eine  
längere Strecke erstreckt, wie dies in  
35    Fig. 4 angedeutet ist. Bei einer solchen Bauform lässt sich ein und  
derselbe Biegeaktor 4 für verschiedene Einsatzfälle konfigurieren,  
die sich durch die Position der Lagerstellen 6 am Befestigungsabschnitt  
5 voneinander unterscheiden, sodass die wirksame Biegeaktorlänge  
verschieden sein kann, wie dies

5 in Fig. 4 durch drei mögliche Biegeaktorlängen BW1, BW2 und BW3 illustriert ist.

Da sich die Position der Stelle konstanter Längsdehnung 27 an der wirksamen Biegeaktorlänge BW orientiert, ergeben sich bei  
10 den geschilderten Einsatzfällen unterschiedliche Positionen für die Stelle konstanter Längsdehnung 27. Die Sensoreinrichtung 23 ist nun aber so aufgebaut, dass sie sich in ihrer Längsrichtung selektiv deaktivieren lässt, indem man beispielsweise nicht erforderliche Längenabschnitte mittels ei-  
15 nes Lasers oder eines anderen Trennwerkzeuges vom verbleibenden Anteil abtrennt. Somit kann die Sensoreinrichtung 23 in Abhängigkeit von der jeweils zutreffenden Stelle konstanter Längsdehnung 27 derart konfektioniert werden, dass sich die  
20 gewünschte Symmetrie zwischen den beidseits der Stelle konstanter Längsdehnung 27 befindlichen Abschnitten der Sensoreinrichtung 23 ergibt.

**THIS PAGE BLANK (USPTO,**

25. Feb. 2003

5

Patentansprüche

1. Biegeaktor mit länglicher Gestalt, mit einem zur Fixierung des Biegeaktors (4) dienenden Befestigungsabschnitt (5) und mit einem von dem Befestigungsabschnitt (5) wegragenden, durch Aktivierung des Biegeaktors (4) quer zu dessen Längsachse (12) auslenkbaren Arbeitsabschnitt (7), der mit mindestens einer zur Erfassung der Längsdehnung geeigneten Sensoreinrichtung (23) ausgestattet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23) an und/oder in Längsrichtung symmetrisch beidseits einer Stelle (27) platziert ist, an der bei gegen einen Widerstand (22) drückendem Arbeitsabschnitt (7) eine von der Stellkraft unabhängige, konstante Längsdehnung vorliegt.
2. Biegeaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23) an einer der in der Richtung der Auslenkbewegung (13) orientierten Oberflächen (14, 15) platziert ist.
3. Biegeaktor nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch mehrere Sensoreinrichtungen (23), die in unterschiedlichen Ebenen am oder im Biegeaktor (4) platziert sind.
4. Biegeaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass an jeder der beiden in der Richtung der Auslenkbewegung (13) orientierten Oberflächen (14, 15) des Arbeitsabschnittes (7) jeweils mindestens eine Sensoreinrichtung (23) platziert ist.
5. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Sensoreinrichtung (23) durchgehend über die Stelle konstanter Längsdehnung (27) hinweg erstreckt.

5 6. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23) im Bereich der Stelle konstanter Längsdehnung (27) unterbrochen ist.

7. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23) auf kapazitivem  
10 Messprinzip basiert.

8. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23) auf einem ohmschen Widerstandsmessprinzip basiert.  
15

9. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23) streifenförmig ausgebildet ist.

20 10. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch eine Sensoreinrichtung (23), die sich über eine längere Strecke entlang dem Biegeaktor (4) erstreckt und die zur Anpassung an die sich anwendungsspezifisch ergebende  
25 Position der Stelle konstanter Längsdehnung (27) selektiv deaktivierbar ist.

11. Biegeaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, gekennzeichnet durch eine Ausgestaltung als Piezo-Biegewandler.  
30

12. Aktoreinrichtung, mit einem längliche Gestalt aufweisenden Biegeaktor (4), der mit einem Befestigungsabschnitt (5) an einem Grundkörper (2) der Aktoreinrichtung (1) fixiert ist und der über einen von dem Befestigungsabschnitt (5) weggehenden Arbeitsabschnitt (7) verfügt, der durch Aktivierung des Biegeaktors (4) quer zu dessen Längsachse (12) auslenkbar und gegen einen im Auslenkweg angeordneten Widerstand (22) drückbar ist und der mit mindestens einer zur Erfassung der Längsdehnung geeigneten Sensoreinrichtung (23) ausgestattet  
35 ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (23)  
40

5 an und/oder in Längsrichtung beidseits einer Stelle (27)  
platziert ist, an der bei gegen den Widerstand (22) drücken-  
dem Arbeitsabschnitt (7) eine von der Stellkraft unabhängige  
konstante Längsdehnung vorliegt.

10 13. Aktoreinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeich-  
net, dass der Widerstand (22) von einem einem Fluidkanal (18)  
zugeordneten Ventilsitz (17) gebildet ist.

14. Aktoreinrichtung nach Anspruch 12 oder 13, gekennzeich-  
15 net durch eine Ausgestaltung als Fluidsteuerventil.

15. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, ge-  
kennzeichnet durch Auswertemittel (25) zur Ermittlung der  
Auslenkung und/oder der Stellkraft des Arbeitsabschnittes (7)  
20 auf Basis der mit der Sensoreinrichtung (23) gemessenen  
Längsdehnung.

16. Aktoreinrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeich-  
net, dass die Auswertemittel (25) über Integriermittel (35)  
25 zur Bildung des Integrals der über die Messstreckenlänge der  
Sensoreinrichtung (23) auftretenden Längsdehnung sowie über  
Vergleichermittel (36) zum Vergleich des ermittelten Deh-  
nungsintegrals mit einem vorgegebenen Sollwert aufweist..

30 17. Aktoreinrichtung nach Anspruch 15 oder 16, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die Auswertemittel (25) ausgebildet sind,  
um die Dehnungsintegrale der unter den beidseits der Stelle  
konstanter Längsdehnung (27) liegenden Abschnitte (28a, 28b)  
der Sensoreinrichtung (23) getrennt voneinander zu ermitteln  
35 und um die ermittelten Dehnungsintegrale zu addieren und/oder  
zu substrahieren.

18. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, ge-  
kennzeichnet durch eine Ausgestaltung des Biegeaktors (4)  
40 nach einem der Ansprüche 2 bis 11.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



25. Feb. 2003

5

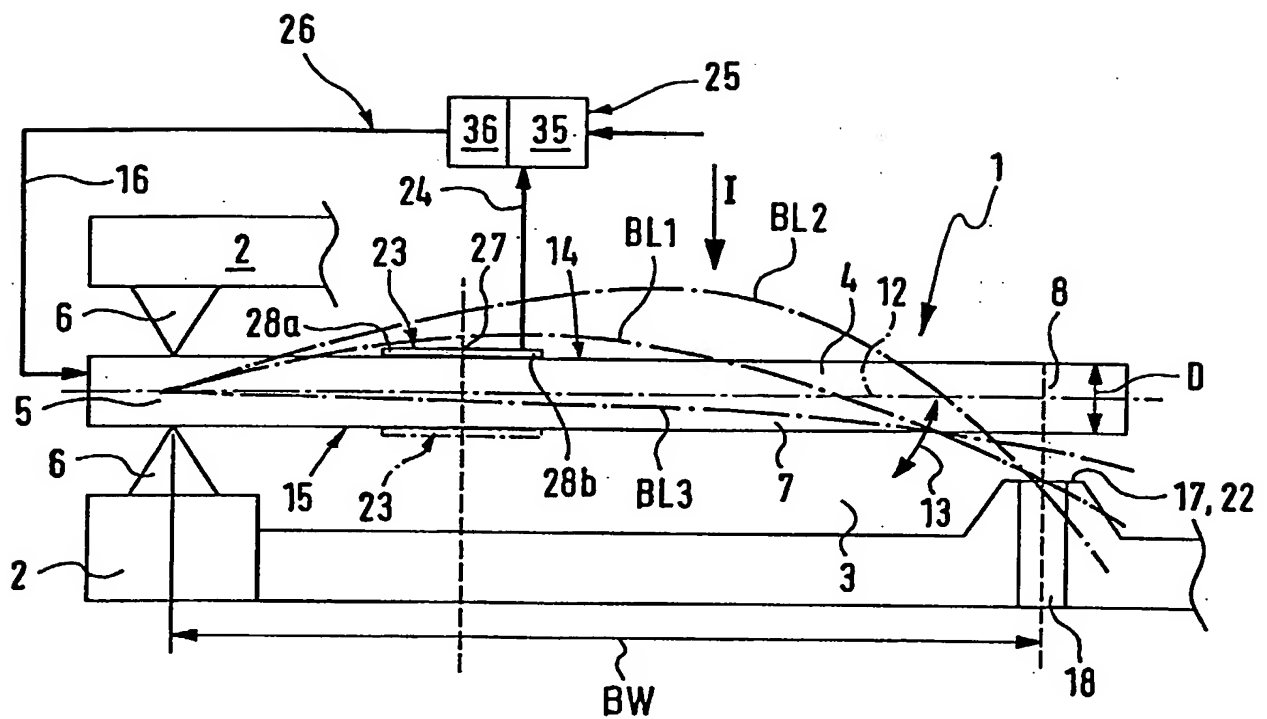
Zusammenfassung

10 Es werden ein Biegeaktor (4) und eine damit ausgestattete Aktoreinrichtung (1) vorgeschlagen, wobei der Biegeaktor (4) an seinem Arbeitsabschnitt (7) mit einer zur Erfassung der Längsdehnung geeigneten Sensoreinrichtung (23) ausgestattet ist. Diese Sensoreinrichtung (23) ist an und/oder in Längs-  
15 richtung symmetrisch beidseits einer Stelle (27) platziert, an der bei gegen einen Widerstand (22) drückendem Arbeitsabschnitt (7) eine von der Stellkraft unabhängige konstante Längsdehnung vorliegt.

20

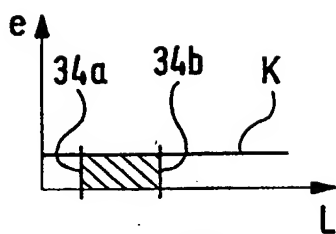
Figur 1a

THIS PAGE BLANK (USPTO)

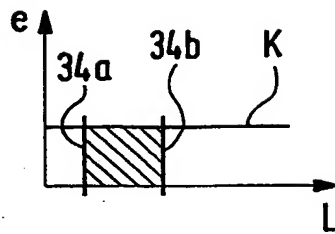


**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

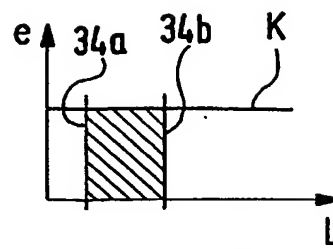




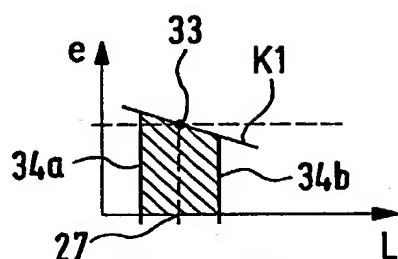
**Fig. 2a**



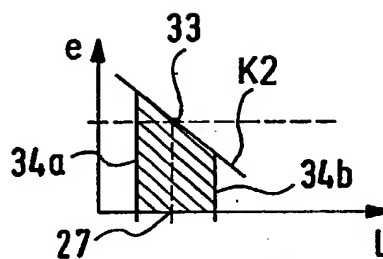
**Fig. 2b**



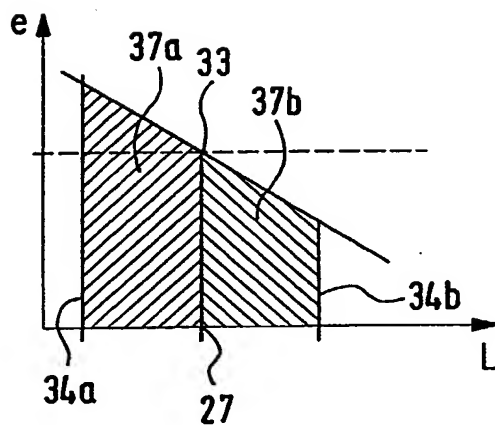
**Fig. 2c**



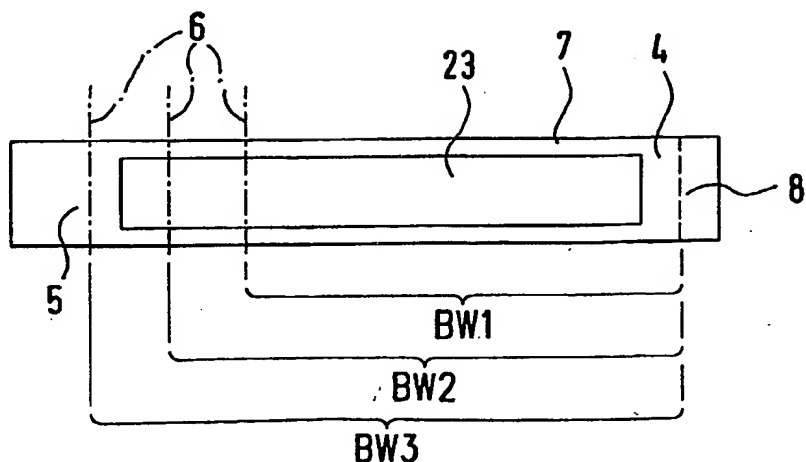
**Fig. 2d**



**Fig. 2e**



**Fig. 3**



**Fig. 4**